

# 七尾湾における過去450年間の底生有孔虫群集の変化

著者	谷口 麻由佳, 加藤 道雄
雑誌名	のと海洋ふれあいセンター研究報告 = Report of the Noto Marine Center
巻	15
号	2009
ページ	1-7
発行年	2009-01-01
URL	<a href="http://hdl.handle.net/2297/30226">http://hdl.handle.net/2297/30226</a>

## 七尾湾における過去 450 年間の底生有孔虫群集の変化

谷口 麻由佳<sup>1)</sup>・加藤 道雄<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>日本ストライカー株式会社大阪営業所, 大阪市西区江戸堀 2-1-1 江戸堀センタービル (〒550-0002)

<sup>2)</sup>金沢大学理工研究域自然システム学系, 金沢市角間町 (〒920-1192)

### Changing in the benthic foraminiferal assemblages over the last 450 years in Nanao Bay, Ishikawa Prefecture, Japan

Mayuka TANIGUCHI<sup>1)</sup> and Michio KATO<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Osaka Branch Office, Stryker Japan Co. Ltd., Edobori Center Bld., 2-1-1 Edobori Nishi-ku, Osaka, 550-0002 Japan

<sup>2)</sup>School of Natural System, College of Science and Engineering, Kanazawa University, Kakuma-Machi, Kanazawa, 920-1192 Japan

#### Abstract

Nanao Bay is divided into three areas: the North, South and West Bays. Benthic foraminifers in the subsurface sediments collected from the three Bays are characterized as follows: the North Bay is characterized by the calcareous species *Bolivina robusta*, *Hopkinsina glabra* and *Protoelphidium schmitti*, whereas the South and West Bays are characterized by the calcareous species *Ammonia tepida* and the agglutinated species *Eggerella advena*. Historical change in the benthic foraminiferal assemblages was analyzed using a short core from the Nanao West Bay. Based on the abundance of the predominant species of benthic foraminifers, the bottom environment of the Nanao West Bay has hardly changed over the last 450 years. After the 1940s, however, the assemblages were characterized by an increase in the relative and absolute abundances of the agglutinated species *Eggerella advena* and a decrease in the two calcareous species *Elphidium somaense* and *E. oceanicum*. *Eggerella advena* was reported from many inner bay areas and is known as a typical eutrophication-tolerant species, whereas *Elphidium* is unable to tolerate low-oxygen conditions. Between the 1910s and 1930s, the operations of a fertilizer plant and a cement plant started in Nanao City, and oysters were cultivated in the Nanao North Bay. After the 1940s, the typical eutrophication-tolerant species among the benthic foraminifers increased in abundance to become dominant in the Nanao West Bay, corresponding to the economic growth period of Nanao City from the 1910s.

**Keywords:** 底生有孔虫, 七尾湾, 群集変化, 人為的影響

**Benthic foraminifera, Nanao Bay, Faunal Change, Anthropogenic impact**

## はじめに

高度経済成長期に国内各地で海洋環境汚染が深刻な問題となったことで、1970 年「水質汚濁防止法」や「海洋汚染等及び海上災害の防止に関する法律」などが制定され、現在まで多くの海洋環境改善の取り組みが行われてきた。しかし水質に関する規制が多く設けられているのに対して、海底堆積物については未だに規制が少ないのが現状である。底質中に蓄積した化学物質は海水中に比べて移動し難いため浄化が困難であることから、底質環境の変化を把握するための環境指標が求められている。

底生有孔虫は殻を持つ原生動物で、海底堆積物の表面や内部で生息しており、底質環境の変化に敏感に反応している。そのため、近年底生有孔虫と底質汚染との関わりを論じる研究が多くなされている(例えば ALVE, 1995; MOJTAHID *et al.*, 2008 など)。中でも外来物質を膠着した殻を持つ底生種 *Eggerella advena* は、汎世界的に生活排水・産業排水等が流入する貧酸素・富栄養な海域に多産することから、有効な環境指標種になり得る可能性について議論されている。日本でも大阪湾(TSUJIMOTO *et al.*, 2006, 2008)や播磨灘(近藤, 2006MS)において、過去数十年の間に *E. advena* が急増していることが報告されている。

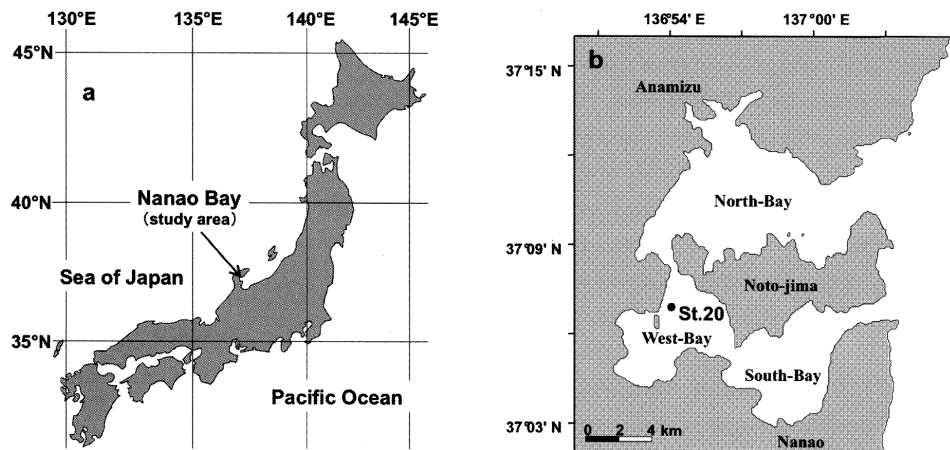
筆者らは、石川県七尾湾の 33 地点において表層堆積物中の底生有孔虫の分布を調査し、七尾湾のな

かでも閉鎖的な西湾と南湾で *E. advena* の産出頻度が高いことを明らかにした(谷口・加藤, 2008)。本論文では七尾湾西湾で採取した柱状試料を用いて、この *E. advena* の個体数や群集に占める比率が、近年どのように変化してきたかを明らかにする。

## 調査海域

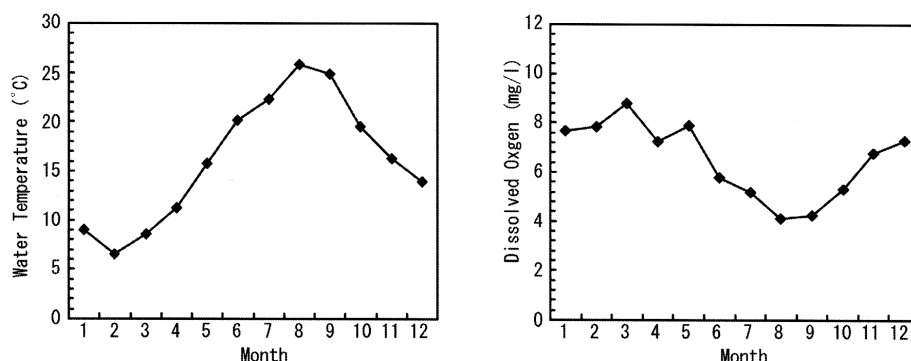
七尾湾は石川県能登半島の東部に位置し、中央部に能登島を有する本邦の日本海側最大の閉鎖性海域である(第 1 図)。太平洋側の内湾と比較すると、潮位差が小さいことから潮流も弱い。七尾湾は北湾、西湾、南湾の三つの小湾からなり、北湾は水深 20–60m で外洋からの海水の流入が多いが、西湾と南湾は水深 10m 以浅の海域が広く、北湾と比較すると閉鎖性が強く富栄養環境下にある。このような現在の海洋環境の違いは、底生有孔虫群集の違いとして現れていることが示されている(谷口・加藤, 2008)。

西湾中央部では石川県水産総合センターによって、月ごとの水温、塩分、溶存酸素量等の観測が継続して行われている(石川県水産総合センター, 2006)。年間の水温は 8 月に最も高く平均約 29℃、2 月上旬に最も低く平均約 5℃となる。塩分は年間を通して 25–35psu、溶存酸素量は 4–12mg/L で、7–10 月にやや低い傾向にあるが無酸素・貧酸素状態になることはほとんどない(第 2 図)。



第 1 図 調査海域と柱状試料採取地点 (St.20: 北緯 37°5′38.9″, 東経 136°52′56.4″, 水深 11.5m)

谷口・加藤：七尾湾における過去 450 年間の底生有孔虫群集の変化



第2図 七尾西湾低層水の水温(左図)と溶存酸素量(右図)の月別変化(石川県水産総合センター, 2006)

人為的な環境改変については、大阪湾、瀬戸内海、東京湾などのように大きく問題視されるような水質汚染や底質汚染は報告されていない。しかしながら、産業の発展に伴って七尾港の埋め立て、肥料工場の操業、カキ等の養殖産業の開始、工場・生活廃水の流入などによって海洋環境が変化してきている。その結果として南湾と西湾においては、ニッケル、コバルト、銅、鉛などの重金属による底質汚染は認められないものの、亜鉛の濃度がやや高いことが指摘されている(YAMAMOTO *et al.*, 1977)。

#### 試料ならびに試料処理

2006年7月6日に七尾西湾において、フレーガー式柱状採泥器を用いて堆積物を採取した。試料の直径が35mmと小さいため同一地点で2本の試料を採取し、それぞれ年代測定用試料(N20)と有孔虫分析用試料(F20)とした。試料採取と同時に多項目水質計(Quanta G:TELEDYNE ISCO社)を用いて、表層水および柱状採泥器のインナーチューブ内の底層水を回収し、水温、塩分、溶存酸素量、電気伝導度、pHを測定した。

#### 1) 年代測定用試料

年代測定用試料(N20)は採取後直ちに厚さ1cm毎に切り分け、湿潤重量と乾燥重量とを秤量して含水率を求めた。試料を乾燥後、貝殻などの不純物を取り除いて珽瑤乳鉢で粉砕した。試料の堆積年代を求めるため、金沢大学環日本海域環境研究センター低レベ

ル放射能実験施設にGe半導体検出器γスペクトロメーター(ORTEC:GEM10)によるγスペクトル測定を依頼した。

#### 2) 有孔虫分析用試料

有孔虫分析用試料(F20)は、試料採取後直ちに表層部(0-1cm)を切り取り、約60%のエチルアルコールで固定した後研究室に持ち帰り、生体殻を区別するためにローズベンガル処理を行った。表層1cmより下位の堆積物は、年代測定用試料と同様に、厚さ1cm毎に切り分けた。有孔虫分析は試料を63μmの篩で水洗し、40℃の定温乾燥機で乾燥させた後、1/8-1/32に分割した。分割試料から底生有孔虫殻が200個体を超えるまで、双眼実体顕微鏡下で拾い出しを行った。

産出した有孔虫群集を客観的に評価するため多様度を求め、さらに多変量解析(Q-mode Cluster Analysis)を行った。また、堆積速度の異なるコア中の有孔虫体積率を比較するために、AR (accumulation rate: specimens/cm<sup>2</sup>/yr)を求めた。

### 結果

#### 1) 水質

2006年7月の試料採取時の水質データを表1に示す。表層水と底層水(水深11.5m)との間には、水温・pH・溶存酸素量・塩分とも大きな違いはなかった。ただし溶存酸素量については、後日水質計に不具合のあったことが判明したため、参考値である。

表 1 試料採取時の水質(2006年7月)

	水温(℃)	pH	溶存酸素量(mg/l)	塩分(psu)
表層(0m)	21.49	7.93	(5.97)	3.3
底層(11.5m)	20.23	7.95	(5.43)	3.5

## 2) 年代決定

使用した年代測定は exc-Pb-210 法で、堆積年代は次式(1)で求めた。

$$A(t)/A(0) = \exp(-\lambda t) \cdots (1)$$

ここで  $A(0)$  は堆積物表層での Pb-210 濃度、 $t$  は測定時から時間(年数)、 $\lambda$  は Pb-210 の壊変定数で、半減期 22.3 年を用いれば  $\lambda = 0.693/22.3$  である(松本, 1975)。

柱状試料(N20)で測定された Pb-210 の放射能強度を第3図に示す。Pb-210 の放射能強度は指数曲線状に減衰したが、Cs-137 のピークを確認することはできなかったため、Pb-210 の減衰から(1)式を用いて平均堆積速度  $50.10\text{mg}/\text{cm}^2/\text{yr}$  を求めた。Pb-210 の強度が検出されるのは現在から百数十年前までであり、それ以前の Pb-210 の強度は測定誤差の範囲に入る。このため、それ以前の層準でも堆積速度が一定であると仮定して計算した結果、柱状試料の最下部の堆積年代は 1586 年となった。この数値にもとづいて、有孔虫用柱状試料の年代を決定した。

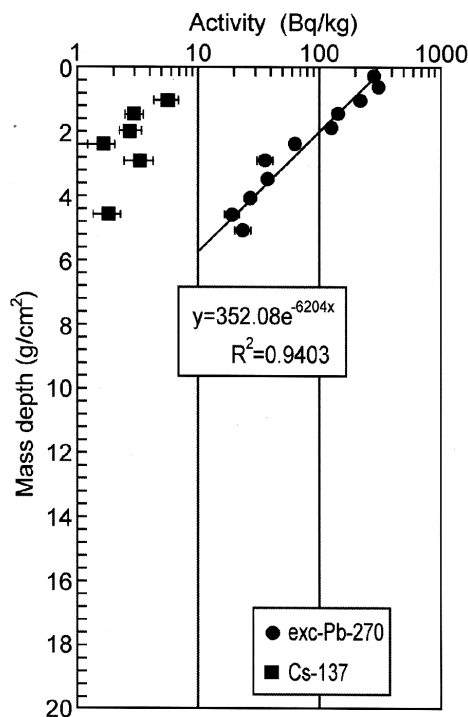
## 3) 有孔虫分析

柱状試料には成層構造などは見られず、貝殻や海綿の骨針などを含む均質な泥質堆積物であり、黒色で生物の排出物であると見られるペレットを多量に含む堆積物であった。全層準について調査したところ、39 属 84 種の底生有孔虫が産出した。

F20 は長さが 40cm であり、40 試料すべてからそれぞれ 200 個体以上の有孔虫殻を拾い出し、同定した。群集に占める割合が 5%を超える種の産出個体数の層位変化を、第4図に示す。個体数は、下位層準から上位層準に向かって次第に増加する傾向にある。最も個体数が多いのが膠着質殻種の *Eggerella advena* であり、深度 7-8cm より上位の層準で 1 試料あたり 200 個体ほ

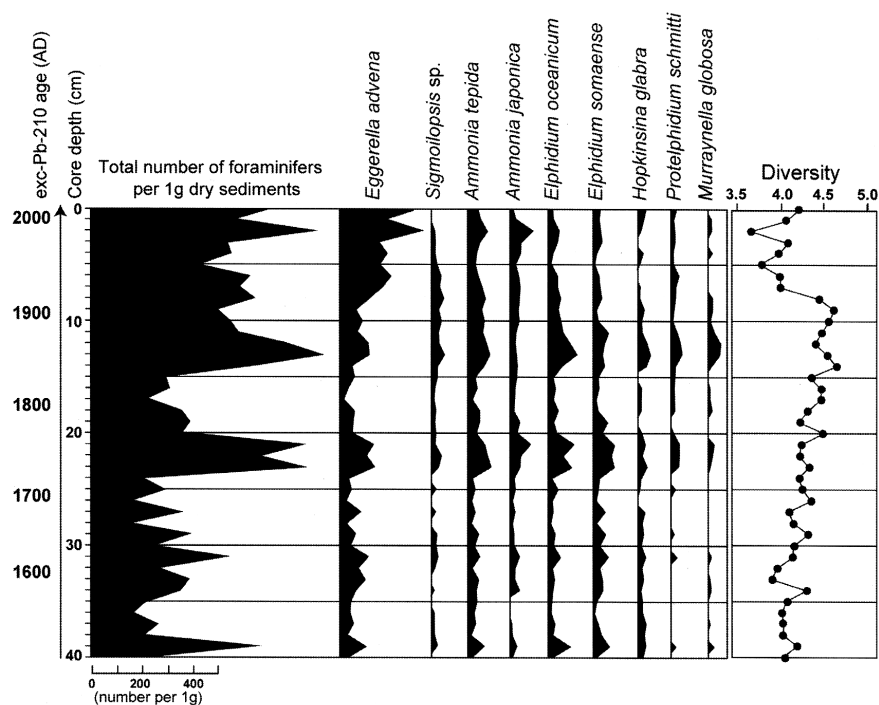
ど増加する。一方、石灰質殻種の *Elphidium somaense* と *Elphidium oceanicum* が、深さ 7-8cm 付近より上位でやや減少する傾向が見られる。*E. advena* は深度 21、23、39cm 付近にも個体数が増えるピークが認められるが、これらの層準では *E. advena* に限らずほぼすべての種の個体数も増加している。

代表的な種の産出頻度の層位的変化を第5図に示す。*E. advena* は深さ 7cm より上位の層準で増加しており、群集構成から見ても高い割合にあるといえる。

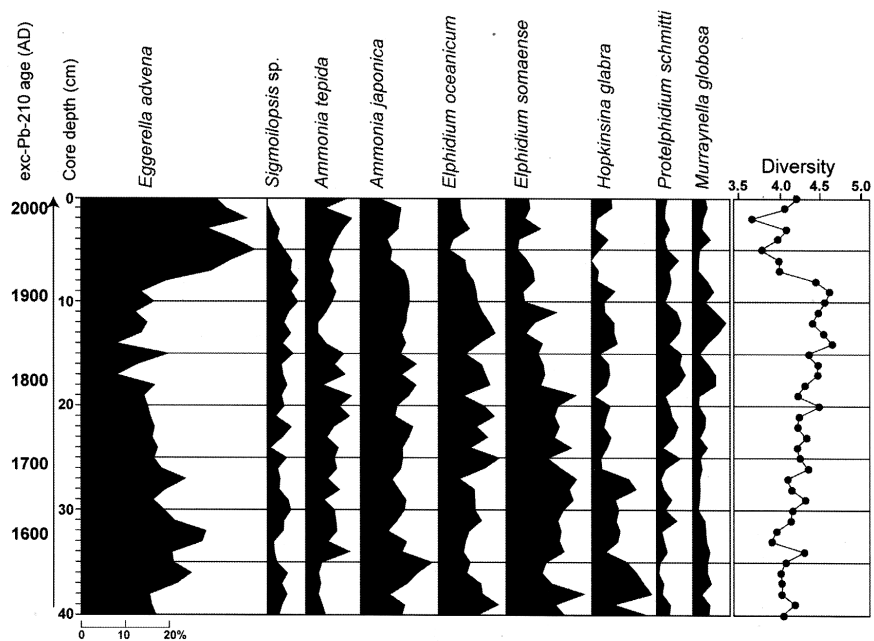


第3図 exc-Pb-270 と Cs-137 の放射能強度の層位変化

谷口・加藤: 七尾湾における過去 450 年間の底生有孔虫群集の変化



第 4 図 優勢種の堆積物 1g 当たりの産出個体数と多様度の層位変化



第 5 図 優勢種の産出頻度と多様度の層位変化

### 考察

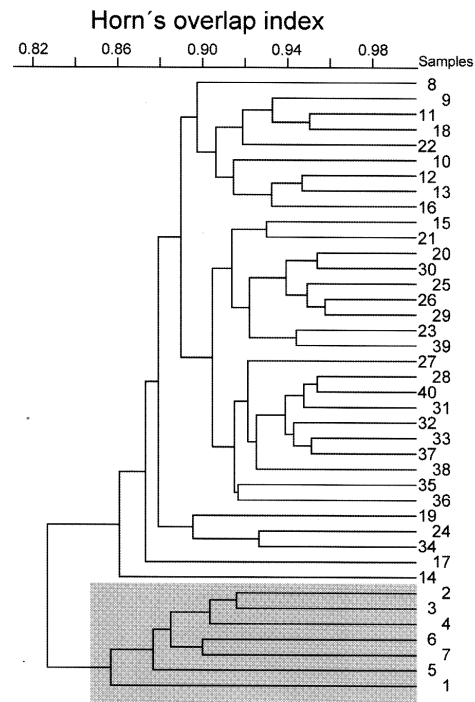
有孔虫群集についてのクラスター分析から、表層部 0-7cm の群集がそれよりも下位の群集とは区別され、その群集は *Eggerella advena* が多産することが特徴である(第6図)。exc-Pb-210 年代測定からは、この層準の最下部(試料番号 N20-7)の堆積年代は 1948 年に相当する。

*Eggerella advena* は太平洋側の大阪湾でも 1920 年代以降に急増することが知られており(TSUJIMOTO *et al.*, 2006)、また世界的にも工業排水や生活廃水の排水口付近で、この種が多産するという報告が 1970 年代以降、多数なされるようになってきた(例えば CLARK, 1971; SCHAFFER and COLE, 1974 など)。このような群集変化は、世界的な産業の発展とともに排出される汚染物質の量も増加し、人為的な環境変化に伴う富栄養化や貧酸素化に耐性のある種が増加したためと考えられている。*E. advena* がどのような汚染物質に応答しているのかについては特定されてはいないが、重金属精錬所、化学工場、肥料工場、パルプ工場などの工場排水や生活廃水などの影響下にある海域で増加している(ALVE, 1995)。また群集としての変動は、汚染源に近くなるほど *E. advena* のような特定の種の個体数の増加と、その他の種が産出しにくいことによる多様度の低下とが挙げられている。ERNST *et al.* (2002) は、堆積物中の溶存酸素量を変えることのできる水槽を用いて、有孔虫各種の貧酸素に対する耐性と堆積物中の生息深度についての実験を行っている。彼らは、*E. advena* は貧酸素にさらされても、他の種よりも堆積物中(海底面下 2-3cm)で生息し続ける能力が高いことを報告している。このように、工場排水で汚染されるなど溶存酸素量が減少した場合でも、*E. advena* は他の種よりも生存する確率が高くなり、その結果他の種や捕食者などがなくなった場所で個体数が増加するというメカニズムが考えられている(ERNST *et al.*, 2002)。

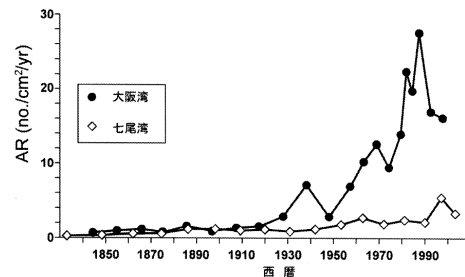
大阪湾は七尾湾よりも堆積速度が非常に速いことから、同じ尺度で比較するために *E. advena* の有孔虫堆積率(AR)を用い、年代軸とともに示した(第7図)。年間 1cm<sup>2</sup>あたりの有孔虫総個体数は大阪湾が最大で約 28 個体であるのに対し、七尾湾では最大約 5 個体と非常に少ない。しかし *E. advena* が増加し始めるよりも前

の時期には、大阪湾、七尾湾ともにほぼ同じ個体数であった。

また、今回 F20 の深さ 8-40cm でも *E. advena* が比較的高い産出頻度を示しているが、その他のほとんどの種の産出頻度は変化しておらず、この期間に群集構成の変化は認められない。試料の最下部は 400-500 年ほど前の堆積物であると考えられ、この長い期間は群集構成が変化しておらず、七尾湾の底質環境は 1940 年代まではほとんど変動していないと考えられる。



第6図 多変量解析(Q-mode Cluster Analysis) 結果



第7図 大阪湾(TSUJIMOTO *et al.*: 2006, 2008)と七尾湾における *Eggerella advena* 堆積率の経年変化

#### まとめ

- exc-Pb-210 年代測定の結果、七尾西湾の平均堆積速度は  $50.10\text{mg}/\text{cm}^2/\text{yr}$  である。exc-Pb-210 の減衰率の変化から西湾の堆積速度は安定しており、大きな堆積物の混合が生じた可能性は少ないと考えられる。堆積速度を一定と仮定すると、西湾 (N20) の試料の最下部は西暦約 1580 年である。
- 西湾の有孔虫分析の結果、産出する有孔虫群集は全層準を通して大きな変化はないが、表層部 0-7cm (1940 年代-現在) で膠着質殻種 *Eggerella advena* の個体数が増加し、産出頻度も高くなる。1920 年代からこの種が増加し始める大阪湾に比べてやや遅れているが、人為的な環境変化の影響が現れていると考えられる。
- *Eggerella advena* の個体数増加の割合や、多様度の低下の程度を見ると、大阪湾と比較して富栄養化の度合いはかなり低いと考えられる。しかしながら、底質中に取り込まれた化学物質を浄化するのは非常に困難であることから、今後も海洋・底質汚染には注意を向けていく必要がある。

#### 謝辞

本研究を進めるにあたり、七尾漁業協同組合 (現石川県漁業協同組合七尾支所) の方々には試料採取の際に船を提供して頂いた。また年代測定にあたっては、試料処理を手伝って頂いた金沢大学自然科学研究科稲垣美幸博士、 $\gamma$ 線スペクトル測定をしていただき年代決定法に関してご指導頂いた金沢大学環日本海域環境研究センター・低レベル放射能実験施設の山本政儀教授、同施設坂口 綾博士には多大な協力、助言を頂いた。金沢大学理工研究域自然システム学系の神谷隆宏教授、長谷川卓准教授には論文内容について有益な議論を頂いた。また、理学部地球学科地質学グループの院生や学生各位には多くの助言とともに励ましを頂いた。ここに記し深甚なる感謝の意を表する。

#### 参考文献

- ALVE, E., 1995. Benthic foraminiferal responses to estuarine pollution: a review. *Journal of Foraminiferal Research*, 25: 190-203.

- CLARK, D.F., 1971. Effects of aquaculture outfall on benthonic foraminifera in Clam Bay, Nova Scotia. *Maritime Sediments*, 7: 76-84.
- ERNST, S., DUIJNSTEE, I. and VAN DER ZWAAN, B., 2002. The dynamics of the benthic foraminiferal microhabitat: Recovery after experimental disturbance. *Marine Micropaleontology*, 46: 343-361.
- 石川県水産総合センター, 2006. 事業報告書平成18年度. 石川県水産総合センター, 能都町, 208 pp.
- 近藤恵美, 2006MS: 瀬戸内海播磨灘西方海域における底生有孔虫群集の変化. 金沢大学理学部地球学科卒業論文, 44pp.
- 松本英二, 1975: Pb-210法による琵琶湖底泥の堆積速度. 地質学雑誌, 81: 301-306.
- MOJTAHID M., JORISSEN, F. and PEARSON, T.H., 2008. Comparison of benthic foraminiferal and macrofaunal responses to organic pollution in the Firth of Clyde (Scotland), *Marine Pollution Bulletin*, 56: 42-76.
- SCHAFER, C.T. and COLE, F.E., 1974. Distribution of benthic foraminifera: Their use in delimiting local near shore environments. Offshore geology of Canada, Eastern Canada. *Geological Survey of Canada*, 1: 103-108.
- 谷口麻由佳・加藤道雄, 2008: 能登半島七尾湾の現生底生有孔虫群集一群集の時間的変化に関する基礎的研究一. 日本海域研究, (39): 9-16.
- TSUJIMOTO, A., NOMURA, R., YASUHARA, M., YAMAZAKI, H. and YOSHIKAWA, S., 2006. Impact of eutrophication on shallow marine benthic foraminifera over the last 150 years in Osaka bay, Japan, *Marine Micropaleontology*, 60: 258-268.
- TSUJIMOTO, A., YASUHARA, M., NOMURA, R., YAMAZAKI, R., SAMPEL, Y., HIROSE, K. and YOSHIKAWA, S., 2008. Development of modern benthic ecosystems in eutrophic coastal oceans: The foraminiferal record over the last 200 years, Osaka Bay, Japan. *Marine Micropaleontology*, 69: 225-239.
- YAMAMOTO, Y., TANAKA, Y. and UEDA, S., 1977. The chemical composition and Nickel, Cobalt, Copper, Zinc and Lead contents of Nanao Bay sediments. *Journal of the Oceanographical Society of Japan*, 33: 242-246.